

# Applicazioni industriali dei sistemi di visione artificiale

L'articolo mira a dimostrare le potenzialità di applicazione dei sistemi di visione artificiale in nuovi settori, mostrando un'ampia gamma di problematiche industriali diversificate già affrontate con successo. Vengono inoltre fornite indicazioni operative per attivare una collaborazione universitaria finalizzata alla valutazione tecnico economica dei vantaggi offerti per applicazioni specifiche innovative.

I sistemi di visione artificiale vengono ormai applicati in ambito industriale da circa un ventennio, anche se le prime operazioni sulle immagini risalgono fino agli anni 60 e nei decenni successivi sono stati prodotti i primi studi sulla visione nel campo della robotica.

Le tipiche applicazioni sono l'automazione degli eventuali controlli visivi esistenti. Il sistema di visione può fornire in uscita una indicazione prodotto buono/scarto, oppure, in abbinamento con un'analisi statistica di processo,

fornire anche un feedback per il controllo dei parametri di lavorazione e rilevare anomalie prima ancora di ottenere pezzi fuori tolleranza o comunque inaccettabili dal cliente.

## Componenti e costi di un sistema di visione industriale

Nonostante il ben noto progresso delle tecnologie informatiche ed elettroniche, i costi di sviluppo rimangono e rimarranno elevati per le competenze di alto livello richieste e per i lunghi tempi di setup. È vero che il costo di una telecamera

in dieci anni si è ridotto di un quarto, pur essendo triplicato il numero di elementi sensibili (pixel). Analogamente si è annullato il costo di una scheda di acquisizione di immagini che arrivava alle decine di migliaia di euro grazie alle telecamere digitali che si possono collegare ad una porta IEEE1394. La capacità di elaborazione posseduta dai moderni personal computer che non era neppure immaginabile venti anni fa, si appropria a costi irrisori. Pertanto l'hardware, che comprende anche supporti, ottiche, isolamenti e illuminatori, rimane il 10% del costo di un sistema di visione complesso e innovativo. La parte più pregiata è rappresentata da progetto, sviluppo e implementazione curati da rare figure professionali altamente qualificate: gli integratori di sistema. Oltre a saperne di visione artificiale, dovrebbero essere o diventare sufficientemente esperti anche del processo da controllare. Infine i tempi di studio e installazione sulla linea possono essere anche lunghi e onerosi, poiché la realizzazione di un sistema di visione artificiale richiede la disponibilità di immagini degli oggetti reali da controllare e quindi non può essere svolta completamente off-line. Per tutte queste ragioni, lo sviluppo di un sistema di visione può essere considerata un'attività artigianale, molto legata all'esperienza e serietà del tecnico sviluppatore.



Figura 1 - Esempi di difetti visivi su cuscinetti a sfere rilevabili con sistema di visione artificiale: ossidazione, bruciature, testimoni di tornitura, rettifica eccentrica.

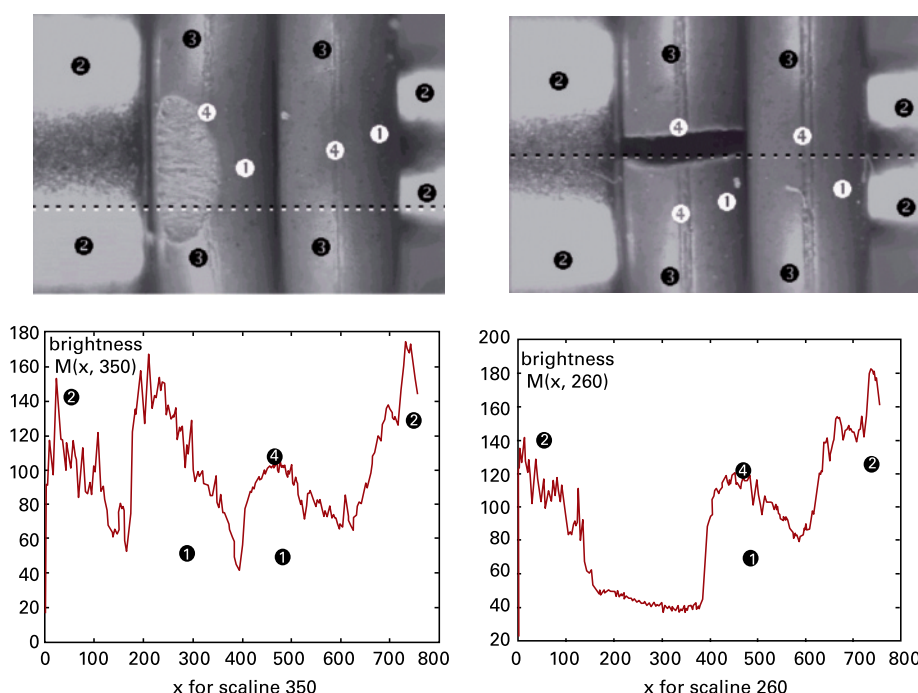


Figura 2 - Ispezione di due o-ring a battuta. Tipico profilo dei livelli di luminosità (o di grigio) in assenza di difetti preso a modello per il sistema di ispezione tramite visione artificiale.

### Make or buy?

Dal punto di vista dell'adozione di un sistema di visione artificiale innovativo, si possono individuare due classi di sistemi: i sistemi di visione artificiale commerciali, per cui ci si può rivolgere a società di provata serietà ed esperienza presenti anche in Italia; questi sistemi sono indicati per problemi consolidati, cioè che comportano analisi di tipo bidimensionale, in cui le caratteristiche da rilevare all'interno dell'immagine sono ben definite, anche in termini quantitativi (= specifiche del sistema chiare e semplici). Il costo di questi sistemi può scendere fino ad alcune decine di migliaia di euro.

L'altra classe di sistemi riguarda le applicazioni più innovative, in cui le funzioni normalmente presenti nei sistemi commerciali non sono in grado di risolvere il problema affrontato e richiedono pertanto uno studio ad hoc. Il costo di questi sistemi può salire di un ordine di grandezza.

In entrambi i casi descritti, questi sistemi si giustificano con una produzione di

serie e non per prodotti artigianali, diversi tra loro o che prevedono modifiche nel tempo, poiché ogni qualvolta l'aspetto del prodotto subisce una variazione, il sistema di visione deve essere riprogrammato per funzionare correttamente. Gli interventi su questi sistemi vengono solitamente svolti dal fornitore della tecnologia o, nel caso delle aziende più grandi, possono essere effettuati da apposite figure presenti in organico con competenze adeguate.

### Esempi di applicazioni dei sistemi di visione artificiale

L'Università di Pisa ha sviluppato studi su sistemi di visione innovativi applicati sia a componenti meccanici, sia a materiali naturali come pelle, marmo e granito, grazie alla potenza di elaborazione oggi disponibile per l'analisi di immagini complesse e imprevedibili come quelle di materiali naturali.

Gli studi hanno portato alla realizzazione di prototipi di sistemi di visione dimostrativi delle capacità della

tecnologia nell'ambito considerato. Lo scopo di questa esposizione è dimostrare la versatilità dei sistemi di visione artificiale nei settori e per le applicazioni più diverse, in modo da fornire spunti per analogia alle lavorazioni in altri settori.

### Controllo di qualità

#### nelle lavorazioni meccaniche

Molti degli esempi seguenti relativi al controllo di qualità di prodotto o dell'utensile (paragrafo successivo) si possono riscontrare nelle tipiche lavorazioni nell'industria meccanica e affini.

Nel campo dei controlli su parti meccaniche, sono state curate diverse applicazioni sviluppando algoritmi originali, quali:

- presenza/assenza o scambi di componenti nel montaggio di serrature per automobili per conto della società Motrol del gruppo Atoma Roltra (PI),
- controlli dimensionali tramite analisi sub-pixel di componenti metallici ottenuti per stampaggio a freddo, per la medesima società;
- controllo di integrità e eventuale presenza di difetti dovuti al processo produttivo su o-ring<sup>2</sup>, nel processo di assemblaggio di elettroiniettori presso la società Siemens (PI) (Figura 2);
- presenza di difetti superficiali (dovuti ad esempio alle lavorazioni precedenti o alla cattiva conservazione o al trasporto) sui diversi componenti di cuscinetti a sfera<sup>3</sup>, per conto della società SKF (MS) (Figura 1).

### Controllo degli utensili per asportazione di truciolo

Sono stati sviluppati sistemi di visione artificiale per monitorare la condizione di diversi tipi di utensili (Figura 3) impiegati in operazioni di asportazione di truciolo, quali:

- utensili e placchette per tornitura
- frese
- perline diamantate

### **Controllo di qualità di materiali naturali**

Questi esempi dimostrano la capacità di un sistema di visione artificiale di valutare anche caratteristiche estetiche difficilmente caratterizzabili o quantificabili.

Sia facendo uso di un approccio di tipo statistico, sia facendo uso di reti neurali artificiali è stato sviluppato un metodo per la classificazione di manufatti in marmo di Carrara, in collaborazione con la società MachsTech (PI) per conto dell'Industria Marmi Piastramarina (MS). L'obiettivo è quello di incrementare il valore dei manufatti prodotti raggruppandoli in classi omogenee, in modo da ottenere rivestimenti di maggiore pregio.

Lo studio è stato esteso ad altri materiali lapidei come il granito e al rilievo dei difetti superficiali dovuti alla lavorazione e morfologici intrinseci del materiale.

È stato inoltre realizzato un sistema per l'acquisizione di lastre di granito finalizzato alla composizione tramite computer di rivestimenti di facciate o pavimentazioni di pregio direttamente con le immagini dei manufatti che saranno effettivamente impiegati. Il sistema è stato commissionato dalla società Eurogranit (MS).

Sono stati inoltre studiati diversi sistemi utilizzabili nel settore della lavorazione della pelle (Figura 4).

È stato progettato per la società CGS (PI) un sistema per individuare le linee di taglio su pelli grezze da eseguire tramite getto d'acqua.

E' allo studio l'automazione completa della fase di scarico di cuoio al termine della lavorazione di smerigliatura sviluppo, per conto della società PGC (PI).

### **Controllo di processo**

Un controllo di tipo visivo può essere utilizzato anche per monitorare il comportamento del macchinario,

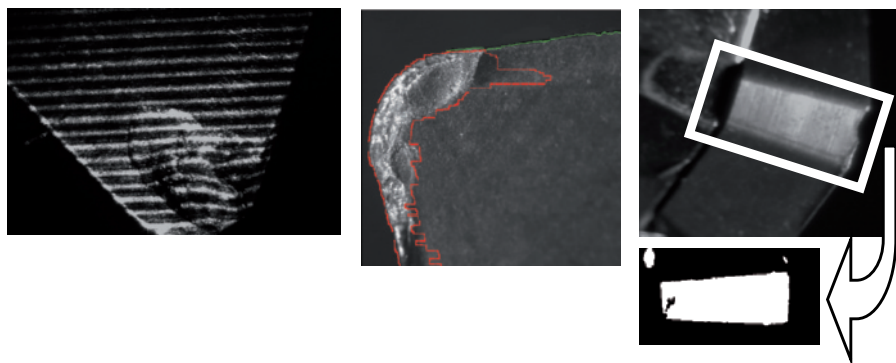


Figura 3 - Possibili approcci per il controllo degli utensili tramite sistemi di visione artificiale.

non necessariamente il prodotto in lavorazione o lavorato.

Grazie all'impiego di uno specifico hardware di visione è stato sviluppato un sistema per il controllo on-line del processo di saldatura e placcatura ad arco elettrico robotizzata per conto delle società Ansaldo (Legnano) e Nuovo Pignone (MS) (Figura 5). Il sistema è in grado di elaborare in tempo reale due coppie di immagini al secondo della zona di saldatura e dell'arco appena formato, fornendo indicazioni per la correzione dei parametri di processo e rilevando eventuali situazioni anomale.

Sono stati inoltre sviluppati studi finalizzati al controllo del processo di prototipazione rapida di sabbie prerivestite di resina epossidica per selective laser sintering, correlando il colore delle sabbie riprese da un sistema di visione artificiale ai parametri di lavorazione e tramite misure con una telecamera dei provini realizzati.

### **Controllo di operazioni robotizzate**

Oltre ai processi produttivi, possono essere messi sotto controllo i processi di unione (assemblaggio, incollaggio, saldatura ecc.), osservando sia lo stato e la posizione dei componenti, sia il risultato dell'operazione e sia gli utensili impiegati (gripper del robot, attrezzature per la movimentazione, sistemi di afferraggio ecc.).

Le applicazioni dei sistemi di visione artificiale in operazioni robotizzate

sono tra le più avanzate e di più recente applicazione in quanto comportano l'utilizzo di complessi modelli per la ricostruzione della configurazione geometrica nelle tre dimensioni spaziali e per la descrizione del comportamento dei diversi componenti del sistema di visione, quali telecamera/e, lenti, ecc. nella cosiddetta operazione di calibrazione del sistema.

- È stata sviluppata una classificazione di applicazioni della visione tridimensionale ai processi di produzione e una rassegna delle principali tecniche utilizzate.

Seguono alcuni esempi di tecniche sviluppate presso l'Università di Pisa. Sono stati proposti due metodi per la localizzazione, cioè per rilevare la posizione di componenti meccanici nello spazio, basati su approcci radicalmente diversi. Il primo con reti neurali e singola telecamera, il secondo, sviluppato presso l'Università di Stanford, per risolvere il problema delle corrispondenze tra immagini stereo. Le tecniche di localizzazione servono ad esempio per verificare la correttezza del posizionamento di un oggetto durante la manipolazione tramite un robot.

- È stato sviluppato e applicato un metodo di calibrazione e localizzazione tridimensionale stereo basato su reti neurali e la relativa estensione al caso di tre telecamere. Tale sistema opera in tempo reale ed è in grado di ricostruire la posizione nello spazio dell'oggetto osservato.



Con particolare riferimento al montaggio, è stato proposto un sistema integrato tra un sensore di forza e di visione general purpose, per il cosiddetto problema peg-in-hole.

- È stato proposto un metodo per aumentare la precisione nel rilevamento della posizione di oggetti in moto lungo -traiettorie note a priori.
- È stato realizzato il prototipo di una cella per il riciclaggio di beni di largo consumo giunti a fine vita con un approccio basato sull'automazione e sensorizzazione del processo di smontaggio. Il sistema è in grado di localizzare e riconoscere i punti di attacco di diversi tipi di compressori (Figura 6) ed eventuali danneggiamenti sulle serpentine di frigoriferi per avviarli all'operazione di bonifica.

#### Altre applicazioni

A ulteriore dimostrazione della versatilità dei sistemi di visione artificiale si ricorda che i sistemi di visione artificiale agli albori si sono affermati industrialmente nel controllo di schede elettroniche e sono particolarmente diffusi oggi nei settori packaging alimentare e farmaceutico.

Si annoverano inoltre le applicazioni seguenti.

- È allo studio la possibilità di rilevare fuoriuscite o bolle d'aria intrappolate in panetti da un kg di colla per uso industriale, per conto della società National Starch (MI).

- È stato studiato un metodo innovativo per il controllo del processo di confettatura<sup>4</sup>.

- È stato proposto un metodo semplice ma alquanto accurato per l'acquisizione di profili bidimensionali da prototipi in legno al fine di programmarne il ciclo di lavorazione alle macchine utensili<sup>5</sup> (CAM) per conto della società Paolino Bacci (PI).

- È ben nota la possibilità di trasformare in un testo l'immagine di un foglio ricavata tramite uno scanner attraverso un'analisi binaria (Optical Character Recognition). Ben più complessa è la lettura di codici per l'identificazione di parti meccaniche basato sul riconoscimento di caratteri micropunzonati come quella studiata per conto della società Logosystem (TO) in vista dell'applicazione alla linea di produzione del motore Fire (FIAT, TO).

#### Le opportunità di ricerca in collaborazione

Le Università e i Centri di Ricerca sono potenziali candidati per valutare, insieme alle aziende interessate all'adozione di tali sistemi, la fattibilità tecnico-economica di introdurre tali tecnologie nei processi di lavorazione.

Sebbene le Università siano enti pubblici quindi soggette a maggiori vincoli, le recenti normative consentono un'elevata flessibilità nel gestire rapporti con le imprese, con benefici fiscali fino al 40% del valore della collaborazione.

Le collaborazioni indicate possono essere attivate in varie forme.

I soggetti proponenti un progetto possono essere:

- direttamente un produttore, senza vincoli particolari sulla dimensione aziendale;
- un consorzio di produttori con esigenze simili, magari attraverso un'associazione di categoria;
- i fornitori delle tecnologie, vale a dire i produttori di macchinari e attrezzature, che potrebbero offrire come opzione per i propri impianti la funzione di controllo del prodotto o del processo produttivo con sistema di visione.

In tutti i casi, il Laboratorio universitario sviluppa lo studio e definisce le caratteristiche (specifiche tecniche) del sistema di visione e in alcuni casi anche lo stesso software di analisi.

Relativamente all'applicazione del sistema presso l'utilizzatore, è sempre opportuno ricorrere ad aziende specializzate, al fine di garantire un livello di servizio adeguato per tutte le esigenze legate all'installazione, alla manutenzione, all'aggiornamento ed eventuale clonazione del sistema. Solitamente è cura del partner universitario, indicare una società specializzata al livello del compito, salvo indicazioni diverse da parte del committente industriale.

Le forme di collaborazione università - impresa possono essere:

il contratto di collaborazione, con spese totalmente a carico del committente;

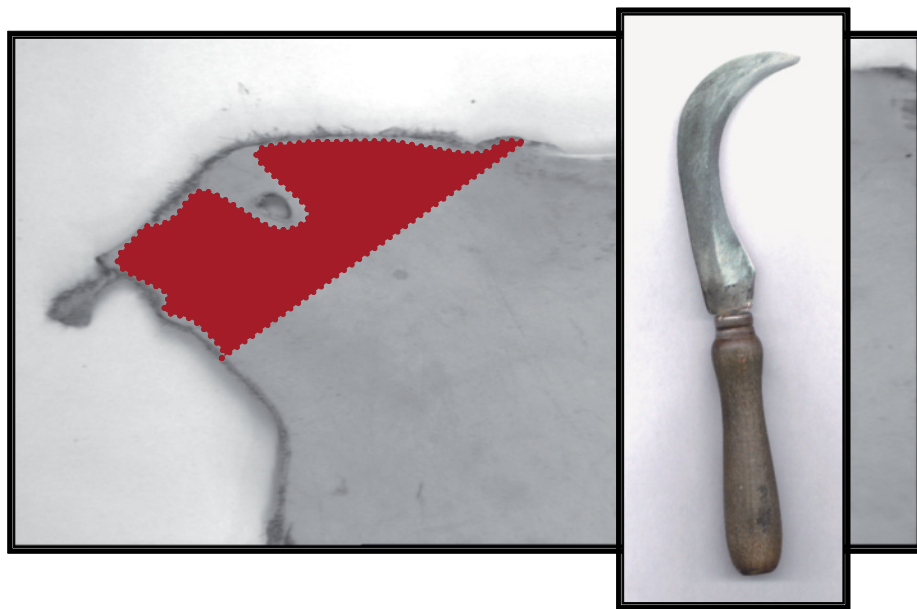


Figura 4 - L'inseguimento tramite visione artificiale del contorno (di una pelle) consente di ridurre lo spreco di materiale.

il progetto di ricerca, con il cofinanziamento di un ente terzo, pubblico o privato, come un ente locale, un Ministero o altro ente governativo, una fondazione, un'associazione ecc.; è possibile finanziare una borsa di studio (per alcuni mesi, per assegno di ricerca, due anni più due, per dottorato di ricerca, per tre anni). In questo caso il candidato, selezionato e guidato dall'università, può lavorare presso la società.

Esistono forme per contenere l'esposizione al rischio industriale, se elevato. In ogni caso nei contratti è possibile definire in tutti i dettagli gli obblighi delle parti, relativamente a:

- tempi e costi, con eventuali penali; risultati attesi;
- proprietà industriale dei risultati, ecc.

### Potenziali benefici della collaborazione con l'università

L'università consente di assolvere quel compito, sempre maggiormente richiesto dalla competizione globale, di ricerca e innovazione che le aziende non riescono a perseguire autonomamente per ragioni diverse. Anche la ricerca si può fare in outsourcing (con benefici fiscali), incaricando chi la fa da sempre

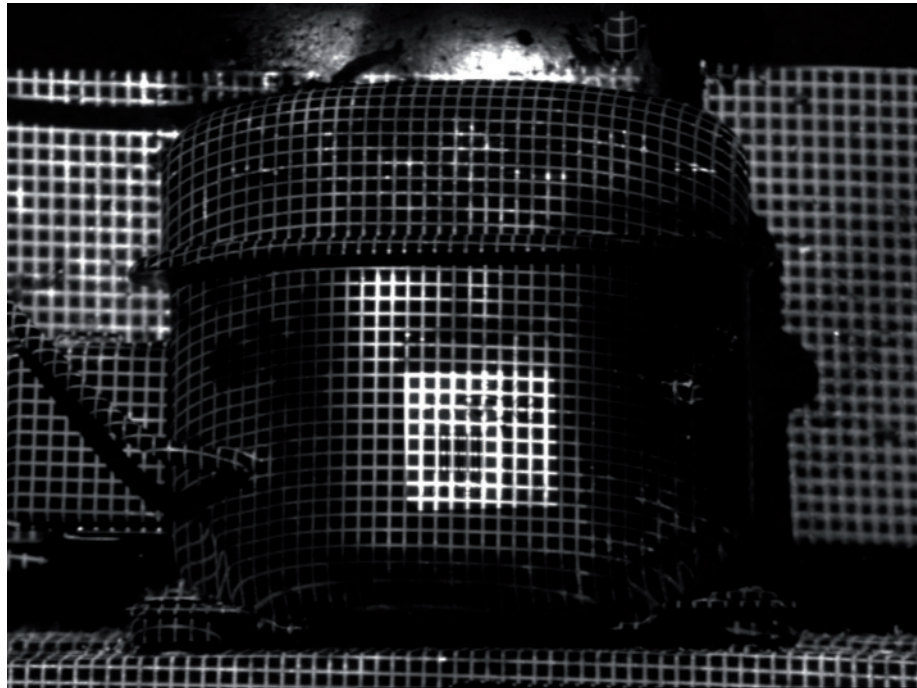


Figura 5 - Un compressore di frigorifero con illuminazione strutturata per il riconoscimento del tipo e l'individuazione della sequenza automatica di smontaggio a fini di riciclaggio.

per naturale vocazione. Collaborare con l'università offre non solo una ricaduta positiva tecnico economica per il processo in esame o di immagine per l'azienda, ma può diventare un veicolo per nuove idee e conoscenze a 360°. Instaurare una collaborazione, ma soprattutto un dialogo con l'università, vuol dire

beneficiare di un canale privilegiato di comunicazione per accedere al sapere, non solo localmente, ma a livello planetario. Inoltre all'università si incontrano aziende provenienti da settori diversi con le fresche menti di studenti e ricercatori, potenziali futuri dipendenti o collaboratori.

### Conclusioni

I sistemi di visione artificiale hanno dimostrato di soddisfare pienamente le esigenze degli utilizzatori nei settori più diversi. Il nostro paese si trova in situazione di svantaggio per la sfiducia creata agli inizi della diffusione di questa tecnologia per il comportamento di improvvisate aziende senza scrupoli e poco lungimiranti. Lo scotto che paghiamo ancora oggi è:

- la concentrazione di produttori di componenti per sistemi di visione artificiale all'estero;
- il ritardo generalizzato nell'adozione di una tecnologia che offre notevoli opportunità per il miglioramento della qualità e la riduzione dei costi.

La situazione coinvolge numerosi settori merceologici, anche eccellenti a livello internazionale.

### Bibliografia

- 1 Lanzetta, M.; Santochi, M.; Tantussi, G.: Computer-Aided Visual Inspection in Assembly, Annals of the CIRP, Ed. Hallwag, Berna, ISBN: 3-905 277-31-X, vol. 48, n. 1, 1999, Montreux, Svizzera, 22-25 Agosto, 1999, pag. 21-24.
- 2 Lanzetta, M.: The Quality Control of Critical Assembly Components: Visual Inspection of O-Rings, 2nd MRQ, Atti del 2o Congresso Internazionale su «Planned Maintenance, Reliability and Quality», Ed. G.J. McNulty, ISBN: 0 86339 7867, Oxford, UK, 2-3 Aprile, 1998, pag. 132-137.
- 3 Lanzetta, M.; Tantussi, G.; Santochi, M.: The Process Control in Manufacturing: Inspection of Ball Bearings, PRIME 2001, 1st International Seminar on «Progress in Innovative Manufacturing Engineering», Ed. P. M. Lonardo, ISBN: 88-900559-0-1, Sestri Levante (GE), 20-22 Giugno, 2001, pag. 405-410.
- 4 Gentile, S.; Lanzetta, M.: Tecnica di misurazione della velocità non invasiva per il controllo di processo nella produzione di confetti, XI Convegno Nazionale A.I.V.E. LA., Associazione Italiana di VElocimetria LAser e diagnostica non invasiva, Facoltà di Ingegneria, Università Politecnica delle Marche, Ancona, 2-3, Dicembre 2003, 12 pp.
- 5 Lanzetta, M.: Rasterisation of 2-D profiles with Unlimited Resolution through Artificial Vision Techniques: an Application to the Wood Industry, Proceedings of the 10th International ADM Conference «Design Tools and Methods in Industrial Engineering», Florence, Italy, September 17th-19th, 1997, pp. 311-316 (6), Publ.Università di Firenze, 1997, ISBN: 88 7957 113-3.